

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электроэнергетических систем

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование автоматического регулятора возбуждения сильного действия
УДК <u>621.313.12:621.316.72-52</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5Б	Грималюк Андрей Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Свечкарев С.В.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е. А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А. О.	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	эффективные режимы технологического процесса.
Р10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
Р11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
Р12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт \_\_\_\_\_ Энергетический \_\_\_\_\_  
Направление подготовки (специальность) \_\_\_\_\_ Автоматика энергосистем  
Кафедра \_\_\_\_\_ Электроэнергетических систем \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой ЭЭС  
\_\_\_\_\_ А. О. Сулайманов

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5Б	Грималюк Андрей Александрович

Тема работы:

Исследование автоматического регулятора возбуждения сильного действия	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Математическая модель автоматического регулятора возбуждения сильного действия (АРВ СД).</li> <li>2. Всережимный моделирующий комплекс реального времени ЭЭС для определения влияния коэффициентов по каналам АРВ СД на режимы электрической сети.</li> </ol>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Провести исследование переходных характеристик математической модели автоматического регулятора возбуждения сильного действия (АРВ СД) и представить графические и аналитические результаты. Провести анализ влияния коэффициентов по каналам АРВ СД на режимы электрической</li> </ol>

работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	<p>сети.</p> <p>2. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>3. Социальная ответственность.</p> <p>4. Заключение.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p>(с точным указанием обязательных чертежей)</p>	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p>(с указанием разделов)</p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	А. Г. Дашковский
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Е. А. Грахова
Раздел ВКР, выполняемый на иностранном языке	А.Л.Буран
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
Method of determining the optimal settings of automatic excitation regulators of synchronous machines in EPS	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Свечкарев Сергей Владимирович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5Б	Грималюк Андрей Александрович		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт ЭНИН  
Направление подготовки (специальность) 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Уровень образования магистр  
Кафедра ЭЭС  
Период выполнения \_\_\_\_\_ (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.03.2014 г.	Обзор литературы	20
1.05.2014 г.	Исследование переходных характеристик АРВ СД	25
20.05.2014 г.	Исследование влияния параметров АРВ СД на процессы в сети	25
28.04.2017 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
7.05.2017 г.	Социальная ответственность	10
15.05.2017г.	Заключение	5
23.05.2017г.	Обязательное приложение на английском языке	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Свечкарев С.В.	К.Т.Н		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А. О.	к.т.н., доцент		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5Б	Грималюк Андрей Александрович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Магистр техники и технологии	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/ Автоматика энергосистем

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Заказчик научно-исследовательской работы – НИ ТПУ, кафедра ЭЭС. Стоимость ВМК РВ ЭЭС – 560 тыс.руб. Стоимость PowerFactory – 11 тыс. руб Стоимость Microsoft Visual Studio Professional 2013 – 22 тыс.руб Размер оплаты труда: Инженер – 9 тыс.руб. Руководитель – 20 тыс. руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	МРОТ Томской области – 8,6 тыс.руб. Величина накладных расходов 16%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер страховых взносов составляет 27,1% от ФОТ

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала исследования	- Потенциальные потребители результатов исследования; - Анализ конкурентных технических решений.
2. Формирование плана и графика разработки	Планирование работ по исследованию - Определение структуры работ; - Определение трудоемкости работ; - Разработка линейного графика
3. Формирование бюджета затрат на научное исследование	Составление сметы для проекта: - Расчет материальных затрат; - Зарботная плата; - Отчислений на социальные цели; - Накладных расходов
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка целесообразности проекта: - Описание групп рисков - Оценка важности группы рисков Определение ресурсной эффективности

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения и бюджет НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Менеджмента	Е. А. Грахова			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5Б	Грималюк А.А.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5Б	Грималюк Андрей Александрович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Магистр техники и технологии	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/ Автоматика энергосистем

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования)	<i>Рабочее место инженера, выполняющего НИР находится всегда в помещении, вблизи находится ПК</i>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ 12.1.003-83, СНиП П-4-79, СН-245-71, СанПиН 2.2.2.542-96, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, СН 2.2.4/2.1.8.562-96 –шум, СН 2.2.4/2.1.8.556-96, НРБ-99, СанПиН 2.2.4.548-96

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная санитария</b> Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	<i>Микроклимат; Уровень шума на рабочем месте; Уровень электромагнитных излучений; Освещенность рабочей зоны; Физические перегрузки (статические); Нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение; перенапряжение анализаторов; монотонность труда).</i>
<b>2. Производственная безопасность</b> Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	<i>Электробезопасность.</i>
<b>3. Экологическая безопасность</b> –анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	<i>Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ.</i>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b> –выбор наиболее типичной ЧС;	<i>Наиболее вероятным ЧС в здании может быть пожар в здании.</i>
<b>5. Организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	<i>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: Эргономические требования к рабочему месту</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5Б	Грималюк Андрей Александрович		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа, состоящая из 105 страниц, 26 рисунков, 27 таблицы, 28 источников, 2 приложения.

Ключевые слова автоматический регулятор возбуждения сильного действия, математическая модель, форсировка возбуждения, переходные характеристики, установившейся режим, короткое замыкание, синхронные качания, электромагнитные переходные процессы, электродинамические переходные процессы.

Объектом исследования является методика определения оптимальных настроечных параметров автоматического регулятора возбуждения сильного действия синхронной машины.

Цель работы – проверка методики определения оптимальных настроечных параметров автоматического регулятора возбуждения сильного действия синхронной машины в ВМК РВ ЭЭС ЭНИН.

Метод проведения исследования и аппаратура – определение оптимальной настройки параметров автоматического регулятора возбуждения синхронных машин путем последовательного приближения параметра к оптимальному значению. В качестве аппаратуры для исследования используется всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС).

Научная или практическая новизна – в данной работе впервые была проведена настройка АРВ СД для данного сценария динамики в ВМКР РВ ЭЭС.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики – программный алгоритм реализации методики выполнен в виде сценариев для различных моделирующих комплексов с учетом их особенностей. Выполнение сценария производится в темпе времени воспроизводимого процесса с получением конечных результатов.

Степень внедрения - Полученные в работе практические результаты позволяют их использовать в ВМК РВ ЭЭС ЭНИН для научных и исследовательских целей.

Область применения – полученные результаты магистерской диссертации предоставляют возможность применения данной методики в определении оптимальной настройки регулятора возбуждения синхронного генератора в промышленных программах для энергетических предприятий. Полученные в работе практические результаты позволяют их использовать в ВМК РВ ЭЭС ЭНИН для научных и исследовательских целей.

Экономическая эффективность или значимость работы – Определяется минимизацией ущерба для энергетических предприятий и упущения крупных аварий в результате неправильной настройки автоматических регуляторов синхронных машин.

## **Оглавление**

<b>Введение .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Обзор литературы.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Объект и методы исследования .....</b>	<b>26</b>
<b>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2. Планирование комплекса работ по исследованию .....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.1 Составление перечня работ.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3 Бюджет научно-технического исследования .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3.1. Расчет материальных затрат.....</b>	<b>33</b>
<b>5.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....</b>	<b>33</b>
<b>5.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы .....</b>	<b>34</b>
<b>5.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....</b>	<b>35</b>
<b>5.3.5 Накладные расходы .....</b>	<b>36</b>
<b>5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....</b>	<b>37</b>
<b>5.4 Оценка рисков при создании проекта .....</b>	<b>37</b>
<b>5.4.1 Описание групп рисков .....</b>	<b>38</b>
<b>5.4.2 Оценка важности группы рисков .....</b>	<b>39</b>
<b>Выводы по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. ....</b>	<b>42</b>

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

ЭЭС – электроэнергетические системы;

АРВ – автоматический регулятор возбуждения;

АРВ СД - автоматический регулятор возбуждения сильного действия

ВМК РВ ЭЭС – всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетической системы;

РМ - реактивная мощность

СМ – синхронная машина

ЭДС – электродвижущая сила

ПС – подстанция.

ТП – тиристорный преобразователь

ВЛ – воздушная линия

СГ- синхронный генератор

ОС – операционная система

КЗ – короткое замыкание

АРЧМ – автоматическое регулирование частоты и активной мощности

РЗА – релейная защита и автоматика

## Введение

**Проблема и ее актуальность.** Электроэнергетическая система является электрической частью энергосистемы, включает в себя всё оборудование, участвующее в процессах производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Правильно спроектированное и настроенное оборудование является необходимостью для поддержания динамической устойчивости системы. Автоматические регуляторы возбуждения не исключение. Практически идеально спроектированная модель регулятора, тем не менее, несёт в себе малую долю погрешности, так как программа не может дать точного результата.

Неправильно спроектированный и настроенный регулятор может отрицательно повлиять на работу электроэнергетической системы даже в нормальном режиме работы. Это повлечёт за собой поломку оборудования, аварии, лишения потребителя электроэнергии и значительный материальный ущерб.

Автоматический регулятор возбуждения позволяет сохранять некоторые параметры синхронных генераторов в допустимых пределах путём регулировки коэффициентов по входам, но, так как вырабатываемая нагрузка на электростанциях изменяется в течение дня, выбор оптимальных параметров сложен и не всегда точен, и на отладку регулятора может уйти большое количество времени. Неправильная настройка регуляторов может привести к нарушению устойчивости работы генераторов, что приведёт к перенапряжению, выпадению генераторов из синхронизма и другим аварийным режимам.

Поэтому задача настройки параметров регуляторов возбуждения синхронных машин является актуальной для энергосистем и электроэнергетики в целом.

**Объект исследования.** В соответствии с поставленной задачей объектом исследования является исследование модели АРВ СД, в

конкретной зависимости работы энергосистемы от изменения параметров автоматического регулятора возбуждения при нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы.

**Предмет исследования.** Исследование изменения коэффициентов усиления в АРВ СД по каналам при нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы с последующим анализом влияния этих коэффициентов на работу энергосистемы

**Научная новизна.** При составлении математической модели создана и испытана схема АРВ СД, отличающаяся от имеющихся на этот день схем. Было проведено исследование влияния методики на моделирующем комплексе – ВМК РВ ЭЭС. Результаты исследования позволяют оценить высокую степень достоверности применяемой методики.

**Практическая значимость результатов ВКР.** Полученные в работе практические результаты позволяют их использовать в ВМК РВ ЭЭС Энергетического института для научных и исследовательских целей.

## 1. Обзор литературы

На сохранение синхронной работы электрических станций в электроэнергетической системе напрямую влияет скорость восстановления напряжения, которое снижается после ликвидации коротких замыканий. [1]

При возникшем асинхронном ходе, скорость восстановления напряжения влияет на время и успешность восстановления синхронной работы электростанций. Следовательно, автоматическое регулирование реактивной мощности и напряжения имеет важное значение для сохранения статической, динамической, а также результирующей устойчивости электроэнергетической. [1]

Конечным пунктом транспортировки электроэнергии является её потребитель. Необходимо, чтобы напряжение получаемой потребителем электроэнергии всегда имело номинальное значение и не зависело от количества потребляемой электроэнергии или случайных изменений в работе электроэнергетической системы. Согласно ГОСТ 13109-97 на нормы качества электрической энергии отклонение напряжения у потребителей должно быть не более 5 % номинального, только в послеаварийных режимах допускается понижение напряжения на 10%. [1]

Указанные выше нормы выдерживаются только при автоматическом регулировании напряжения.

Основными задачами автоматических регуляторов возбуждения являются:

- обеспечение задаваемого графиком напряжения на шинах электростанции и потока реактивной мощности при передаче электроэнергии от электрических станций к потребителям;
- сохранение и повышение статической устойчивости электропередачи в нормальном режиме работы ЭЭС;
- повышение результирующей и динамической устойчивости электроэнергетической системы в аварийных режимах;

- предотвращение развития крутильных колебаний роторов турбогенераторов в нормальном режиме и обеспечение быстрого затухания их качаний, возникающих в послеаварийном режиме;

- поддержание требуемого уровня напряжения у потребителя. [2]

Наиболее распространены автоматические регуляторы возбуждения:

- пропорционального (ПД) действия;
- пропорционально-дифференциального или «сильного» действия (СД);
- пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД-) действия. [2]

АРВ ПД вступает в работу при отклонении напряжения от заданного значения, тока нагрузки генератора и коэффициента мощности  $\cos\varphi_{\Gamma}$ . Для выравнивания напряжения в АРВ СД применяют производную действующего значения напряжения, а при ПИД-алгоритме автоматического регулирования подаётся сигнал через интегральную функцию отклонения амплитуды напряжения и первую и вторую производные угла электропередачи  $\delta$ . [2]

АРВ СД помогает достигнуть максимальной пропускной способности электропередачи и значительно повышает статическую устойчивость всей системы. Эти факторы и обеспечили широкое распространение регулятора по всему миру. [2]

Основными элементами системы возбуждения являются возбудитель, АРВ, контрольно-измерительные приборы, устройства защиты и коммутации. От свойств системы возбуждения с АРВ в первую очередь зависит устойчивость не только СМ, но и электроэнергетической системы в целом.[3]

Все АРВ, используемые на существующих станциях отличаются друг от друга способами воздействия на систему возбуждения синхронного генератора и делятся на три типа:



Электромеханические регуляторы. В качестве возбудителя в которой применяется электрическая машина постоянного тока, устанавливаемая на одном валу с ротором возбуждаемой СМ. Данный регулятор реагирует на отклонение напряжения от установленного значения и изменяет сопротивление в обмотке возбуждения возбудителя.

Во вторую группу входят электрические АРВ. Реагируют на отклонение тока в генераторе и напряжения от установленных значений, а также подают дополнительный выпрямленный ток на обмотку возбуждения от трансформатора тока, напряжения или трансформатора собственных нужд.

В третью группу входят АРВ с высокочастотной, бесщеточной и тиристорной системами возбуждения. Эти регуляторы контролируют работу возбудителей, но не имеют своих внешних источников питания. В качестве возбудителей применяются электрические машины переменного тока повышенной частоты для высокочастотной и бесщеточной систем и промышленной частоты для тиристорной. [3]

### **Развитие регуляторов возбуждения**

Исследование и установка автоматических регуляторов возбуждения на электростанциях для повышения устойчивости началось ещё в довоенные годы. Однако с развитием энергосистем обычные для тех времен инерционные регуляторы переставали справляться с возрастающей нагрузкой. На смену им пришли ионные, отличающиеся своим быстродействием, а позже и тиристорные системы регулирования возбуждения. [4]

В 50-х годах развитие систем автоматического регулирования вышло на новый уровень благодаря созданию АРВ сильного действия. Для регулирования возбуждения он реагировал на скорости изменения напряжения, а также на его ускорение. Дальнейшие разработки были направлены на улучшение конструкции и способов настройки регуляторов, а также на

повышение надёжности их работы. Помимо выполнения основных функций таких, как поддержание напряжения и повышение устойчивости энергосистемах, АРВ СД выполняет и другие функции по защите генераторов и автоматизации процессов выработки электроэнергии, что повышает надёжность работы всего оборудования на электростанции. [4]

С развитием микроэлектронной техники Регуляторы сильного действия начали морально устаревать. Поэтому в конце 70-х годов на основе АРВ СД был создан АРВ СДП с применением полупроводников и интегральных микросхем. [4]

АРВ СДП1 стал последним полупроводниковым регулятором на аналоговой аппаратуре. Сегодня именно этот регулятор является наиболее используемым на электрических станциях всего мира, так как он вобрал в себя самые лучшие качества своих предшественников. В АРВ СДП1 включена аппаратура релейной защиты и по своим характеристикам превосходит предыдущие образцы. Он заметно повышает качество поддержания заданного напряжения и увеличивает устойчивость регулирования за счет динамического снижения коэффициента усиления по отклонению напряжения в области частот собственных колебаний. [4]

### **Автоматический регулятор возбуждения сильного действия**

Автоматические регуляторы возбуждения сильного действия (АРВ СД) применяют для увеличения устойчивости при параллельной работе гидро- и турбогенераторов электрических станций, которые связаны с электроэнергетической системой сильно загруженными и протяженными линиями электропередачи. Увеличение устойчивости происходит из-за того, что АРВ СД более интенсивно влияют на систему возбуждения генератора, чем АРВ пропорционального действия. Одновременно для стабильности процесса регулирования, регуляторы сильного действия используют дополнительные устройства, реагирующие на скорость и ускорение отклонения параметров от заданных значений. Учитывая эти

дополнительных факторы, АРВ способен с опережением выявлять зависимость в протекании процесса с дальнейшим регулированием системы возбуждения генераторов в самом начале изменении режима.

Скорость изменения электрических параметров характеризуется первой производной, а ускорение - второй производной данного параметра по времени. Поэтому выявление этих факторов производится специальными дифференцирующими устройствами.

Применяются АРВ СД с быстродействующими безынерционными системами возбуждения с управляемыми выпрямителями (тиристорами). На рисунке.2. приведена упрощенная структурная схема АРВ СД, который обеспечивает:

- автоматическое регулирование возбуждения генератора по заданному закону для поддержания постоянства напряжения на шинах электростанции или в заданной точке сети;
- форсировку возбуждения и развозбуждение генератора;
- ограничение минимального тока ротора;
- ограничение тока ротора двукратный значением при форсировке и длительной перегрузке обмотки ротора генератора.

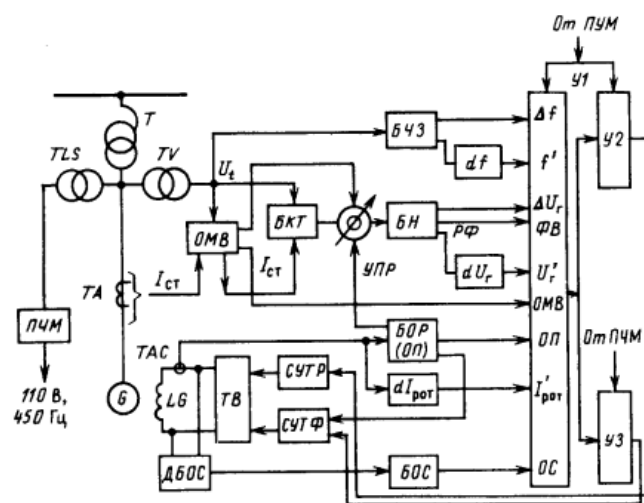


Рисунок 1 - Структурная схема автоматического регулятора возбуждения сильного действия (АРВ СД)

Напряжение статора генератора  $U_{\Gamma}$  проходит вначале от трансформатора напряжения TV через блок компаундирования БКТ. Далее подаётся на блок напряжения БН. Блок БН имеет измерительный элемент, который выявляет отклонение напряжения от заданной уставки  $\Delta U_{\Gamma}$ , элемент релейной форсировки возбуждения РФ и дифференцирующее устройство  $dU_{\Gamma}$ , которое выявляет скорость отклонения напряжения  $U_{\Gamma}$ . Сигналы  $\Delta U_{\Gamma}$  форсировки возбуждения АД и  $U'_{\Gamma}$  подаются на суммирующий магнитный усилитель У7.

Блок компаундирования БКТ, в свою очередь создаёт статизм, необходимый для устойчивого распределения между параллельно работающими генераторами реактивной мощности. Ток статора генератора подводится к блоку БКТ от трансформаторов тока ТА.

Уставка по напряжению, поддерживаемого регулятором, задается при помощи потенциал-регулятора УПР, имеет как ручное, так и дистанционное управление.

Напряжение от TV генератора подводится также к блоку частоты и защиты БЧЗ. Имеющийся в БЧЗ измерительный элемент выявляет изменение частоты от нормального значения и формирует сигнал  $\Delta f$ . Дифференцирующее устройство  $\Delta f$  выявляет скорость изменения частоты  $f'$ . Оба эти параметра поступают в суммирующий усилитель У1.

В регуляторе предусмотрены защитные блокировки. Они защищают систему возбуждения генератора от ложных воздействий по каналам производных при аварийных ситуациях, включающих какие-либо внезапные сбросы нагрузки (при отключении короткого замыкания) при резких изменениях напряжения или частоты.

АРВ СД содержит специальный блок ограничения БОР, ограничивающий тока ротора генератора до двукратного значения при форсировке возбуждения, и предотвращающего длительную перегрузку

обмотки ротора. От трансформатора постоянного тока ТАС подводится ток ротора к блоку БОР.

Ограничение тока происходит следующим образом. Когда ток ротора генератора достигает вдвое большего значения блок БОР подаёт сигнал форсировочной группе тиристоров СУТ Ф, которая и ограничивает значение тока.

Ограничитель перегрузки ОП в блоке БОР снижает ток ротора, изменяя уставку АРВ СД при помощи потенциал-регулятора УЛР через суммирующий усилитель У1. Ограничение перегрузки происходит с выдержкой по времени, которая зависит от кратности перегрузки.

Устойчивость работы генератора в режиме недовозбуждения обеспечивает ограничитель минимального возбуждения ОМВ. При срабатывании ОМВ воздействует на суммирующий усилитель и на повышение уставки АРВ СД потенциал - регулятором УПР.

Дифференцирующее устройство  $dI'_{\text{рот}}$  образует регулируемый канал по скорости изменения тока ротора генератора  $I'_{\text{рот}}$ . К  $dI'_{\text{рот}}$  от трансформатора постоянного тока ТАС подводится ток ротора генератора. Сигнал  $dI'_{\text{рот}}$  подаётся на суммирующий усилитель У1.

На выбор каналов и коэффициентов усиления по каждому из них существенное влияние оказывают параметры и характеристики энергосистемы. Потребуется рассмотрение установившихся режимов и переходных характеристик электроэнергетической системы, что делает выбор каналов сложной задачей.

При этом необходимо определить:

- значения параметров канала регулирования по отклонению напряжения, которые обеспечивают установленную точность поддержания напряжения при разных режимах работы синхронного генератора;
- параметры и тип каналов стабилизации ( $U'_{\text{Г}}$ ,  $\Delta f$ ,  $\Delta f'$ ,  $I_{\text{рот}}$ ) для обеспечения статической устойчивости и заданных показателей качества

переходных характеристик при небольших отклонениях от начального установившегося режима;

В АРВ СД присутствует обратная связь по скорости изменения напряжения ротора генератора. Она стабилизирует процесс регулирования возбуждения генератора. Напряжение ротора генератора подводится к блоку обратной связи БОС через делитель напряжения ДБОС. Блок БОС, в свою очередь реагирует на магнитный усилитель У1 по своим выходным цепям.

Суммирующий магнитный усилитель У1 считывает сигналы поступающие на его вход, с последующим их суммированием и усилением. Сигнал с выхода далее подводится к операционным усилителям У2 и У3, воздействующих на системы управления рабочей СУТ Р и форсировочной групп СУТ Ф тиристорных выпрямителей возбуждения генератора. Усилители У1, У2, У3 и блок БЧЗ питаются от трансформатора собственных нужд TLS, напряжение которого перед этим проходит через магнитный преобразователь частоты ПЧМ. С его выхода снимается напряжение 110 В, 450 Гц. [3]

Целью выпускной квалификационной работы является исследование переходных характеристик АРВ СД и влияния его настроечных параметров на процессы в сети.

Автоматическое регулирование сильного действия характеризуется:

- опережающим действием регулятора благодаря использованию в алгоритме регулирования воздействий по производным режимных параметров (напряжения, тока, частоты);
- высоким быстродействием регулятора и возбудителя;
- сложным алгоритмом регулирования, включающим регулирующие воздействия по нескольким режимным параметрам;
- большими значениями коэффициентов передачи регулятора по каждому из регулирующих воздействий.

Автоматическое регулирование возбуждения сильного действия используется на СМ с тиристорной или с быстродействующей бесщеточной системой возбуждения.[4]

В регуляторах возбуждения сильного действия в качестве регулирующих воздействий могут применяться:

- отклонение напряжения  $\Delta U$  от заданного значения;

- первая производная напряжения  $U' = \frac{dU}{dt}$ ;

- первая производная по току возбуждения  $I_f' = \frac{dI_f}{dt}$ ;

- изменение и первая производная частоты

$$\Delta' f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\delta}{dt}, f' = \frac{df}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2\delta}{dt^2};$$

- статизм по полному или реактивному току статора  $K_{CT} = \frac{\Delta U}{I_{c.p.}}$ ;

Регулирование отклонения напряжения  $\Delta U$  необходимо для обеспечения заданного напряжения генератора. С учетом того, что передача максимальной мощности возможна при постоянстве напряжения в начале линии, отклонение обозначают как разность между напряжением в начале линии и заданным значением:

$$\Delta U = \left| U_G^g - j I_G^g x_T \right| - U_3 = \left| \bar{U}^g \right| - U_3,$$

где  $U_G^g$  - напряжения на выводах генератора;  $j I_G^g x_T$  - падение напряжения в трансформаторе блока генератор-трансформатор;  $U_3$  - заданное значение напряжения.[4]

Использование регулирующего воздействия по производной напряжения  $U'$  позволяет обеспечить устойчивость процесса регулирования

при высоком значении коэффициента передачи по отклонению напряжения, особенно в режиме холостого хода СГ.

Воздействие по каналу производной тока возбуждения или совместное действие каналов производной частоты с производной напряжения повышают устойчивость замкнутой автоматической системы регулирования, включающей нагруженную электропередачу, обеспечивая затухание электромеханических переходных процессов. Вследствие чего регулирующее воздействие АРВ СД часто разделяют на собственно регулирующее воздействие, вызванное отклонением напряжения, и стабилизирующее воздействие, определяемое производными режимных параметров.

Таким образом, алгоритм АРВ СД может быть представлен в виде:

$$U_f = k_U \Delta U_\Gamma + k_H \int \Delta U_\Gamma dt + k'_U U_\Gamma + k_f \Delta' f + k'_f f' + k'_I I_f + k_{CT} I_P,$$

где  $k_U, k'_U, k_f, k'_f, k'_I, k'_I, k_H, k_{CT}$  - коэффициенты передачи регулятора по соответствующим регулирующим воздействиям.[2]

Форсирование возбуждения при снижении напряжения статора ниже заданного обеспечивает блок форсировки. Вследствие этого обеспечиваются высокие пределы динамической устойчивости.[1]

Исходя из уравнения, представленного выше, в НИЛ «МЭЭС» ЭНИН была разработана математическая модель АРВ СД:





## **2. Объект и методы исследования**

Объектом исследования является проверка методики определения оптимальных настроечных параметров автоматических регуляторов возбуждения синхронных машин в разработанной математической модели в НИЛ «МЭЭС» ЭНИН и в стандартной математической модели APB СД IEEEХ1.

Определение оптимальных настроек APB производится по алгоритмам последовательного приближения каждого значения из настроечных параметров APB всех синхронных машин, при которых измеряется время затухания электромеханических переходных процессов в ЭЭС. Минимизация времени затухания является критерием определения оптимального значения параметра APB.

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

Объектом исследования является методика определения оптимальных настроечных параметров автоматического регулятора возбуждения сильного действия синхронной машины.

Цель работы – проверка методики определения оптимальных настроечных параметров автоматического регулятора возбуждения сильного действия синхронной машины в двух различных моделирующих комплексах и анализ особенности ее применения.

Метод проведения исследования и аппаратура – определение оптимальной настройки параметров автоматического регулятора возбуждения синхронных машин путем последовательного приближения параметра к оптимальному значению. В качестве аппаратуры для исследования используется всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) и программный комплекс PowerFactory.

Научная или практическая новизна – в данной работе впервые было проведено сравнение результатов применения методики на двух различных моделирующих комплексах: ВМКР РВ ЭЭС и PowerFactory.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики – программный алгоритм реализации методики выполнен в виде сценариев для различных моделирующих комплексов с учетом их особенностей. Выполнение сценария производится в темпе времени воспроизводимого процесса с получением конечных результатов.

Степень внедрения - Полученные в работе практические результаты позволяют их использовать в ВМК РВ ЭЭС ЭНИН для научных и исследовательских целей.

## **5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Проблема моделирования электроэнергетических систем является актуальной не только для отечественной энергетики, но и для энергетики зарубежных стран. Также разработка может применяться в качестве учебной модели электроэнергетической системы. Для проверки достоверности моделирования, осуществляем сравнение разработанного в Томском политехническом университете Всережимного моделирующего комплекса реального времени и зарубежного программного обеспечения PowerFactory.

Таким образом, потенциальными потребителями результатов исследования могут являться:

- Энергетические компании;
- Научно-исследовательские институты;
- Зарубежные и отечественные ВУЗы.

В будущем предполагается внедрение методики на зарубежное и отечественное производство электроэнергии.

### **5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

На данный момент на рынке существует большое количество конкурентных разработок, способных производить точное и быстрое моделирование электроэнергетической системы, в частности моделирование работы регулятора возбуждения синхронных машин. Среди разработчиков моделирующих программных комплексов, можно выделить отечественного и зарубежных производителей. При анализе конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения были выбраны два программных комплекса, с помощью которых можно провести моделирование.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения направлен на проведение сравнительной эффективности научной разработки и определение направления для ее будущего повышения, см. табл. 6.

В таблице 5:

- под индексом «1» приводится оценка расчетов моделирования работы регулятора возбуждения синхронных машин, оценка методики выбора оптимальной настройки регулятора возбуждения и получения осциллограмм электромагнитных и электромеханических переходных процессов с помощью Всережимного моделирующего комплекса реального времени ЭЭС;
- под индексом «2» приводится оценка расчетов моделирования работы регулятора возбуждения синхронных машин, оценка методики выбора оптимальной настройки регулятора возбуждения и получения осциллограмм электромагнитных и электромеханических переходных процессов с помощью ПК «PowerFactory»;

Таблица 5 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки		Вес критерия	Баллы		Конкурентно-способность	
			Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>
1		2	3	4	6	7
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>						
1	Точность моделирования	0,05	5	5	0,25	0,25
2	Возможность моделирования различных видов электрических машин	0,05	5	4	0,25	0,2
3	Время расчета	0,05	5	3	0,25	0,15
4	Вид исходных данных	0,05	5	4	0,25	0,2
5	Доступность программного продукта	0,05	3	5	0,15	0,25
6	Интегрированность с другими комплексами	0,05	4	4	0,2	0,2
7	Возможность расчета переходных режимов	0,05	5	5	0,25	0,25
8	Возможность моделирования широкого спектра возмущений	0,05	5	4	0,25	0,2

9	Различные способы представления полученных результатов	0,05	5	4	0,25	0,2
10	Моделирование действий релейной защиты и противоаварийной автоматики	0,05	5	5	0,25	0,25
11	Возможность просмотра структурной схемы энергообъекта	0,05	5	4	0,25	0,2
12	Пользовательский интерфейс	0,05	5	3	0,25	0,15
13	Частота программного обновления	0,05	4	5	0,2	0,25
14	Системные требования компьютера для нормального процесса работы в программном комплексе	0,05	4	3	0,2	0,15
15	Возможность расчета сразу нескольких коротких замыканий	0,05	5	5	0,25	0,25
16	Знание программного комплекса специалистами в области электроэнергетики	0,05	3	4	0,15	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>						
1	Конкурентоспособность технологии	0,05	5	5	0,25	0,25
2	Цена	0,05	4	5	0,2	0,25
3	Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	0,25	0,25
4	Финансирование научной разработки	0,05	5	5	0,25	0,25
<b>Итого</b>		<b>1</b>			<b>4,6</b>	<b>4,35</b>

**Вывод:** По данным таблицы можно сделать вывод о том, что целесообразнее использовать ПК «ВМК ЭЭС» с точки зрения технических критериев оценки ресурсоэффективности и экономических критериев оценки эффективности.

## 5.2. Планирование комплекса работ по исследованию

### 5.2.1 Составление перечня работ

Для успешного выполнения научного исследования, формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер. Для оптимального распределения нагрузки по каждому виду работ, устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В таблице 6 представлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также установлена соответствующая должность исполнителей.

Календарный план-график представлен в приложении В.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Организация исследования	2	Подбор материалов и литературы	Руководитель, инженер
	3	Выбор программного обеспечения	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, инженер
Теоретическое исследование	5	Изучение программного комплекса	Инженер
	6	Исследование упрощенной модели	Инженер
Экспериментальное исследование	7	Создание опытного образца на ВМК РВ ЭЭС	Руководитель, инженер
	8	Исследование опытного образца на ВМК РВ ЭЭС	Инженер
	9	Создание опытного образца на PowerFactory	Руководитель, инженер
	10	Исследование опытного образца на PowerFactory	Инженер
Оформление отчета	11	Оценка итогов полученных результатов и оформление отчета	Инженер

### 5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения ленточного графика проведения научных работ, воспользуемся формой диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 0,9 \cdot 1,48 = 1,3 \approx 2,$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48,$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляются до целого числа.

Для примера расчета, рассчитаем продолжительность выполнения работы в календарных днях работы №4:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 0,9 \cdot 1,48 = 1,3 \approx 2$$

**Вывод:** Исходя из календарного плана-графика, длительность выполнения проекта составляет 81 день. Из них длительность работ в календарных днях: 71 день – инженер, 26 – руководитель. Длительность работ в рабочих днях: 55 – инженер, 20 – руководитель

### 5.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его



выполнением. В процессе формирования бюджета исследования используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### **5.3.1. Расчет материальных затрат**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, а именно канцелярские затраты.

Все расходы на канцелярию представлены в таблице 8.

Таблица 7 - Канцелярские расходы

№	Наименование изделия	Кол-во единиц изделия	Цена единицы изделия, руб.	Общая стоимость изделия, руб.
1	бумага для принтера	2	200	400
2	ручка шариковая	2	30	60
3	тетрадь для записей	2	50	100
Итого:				560 руб.

### **5.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ**

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производилось по действующим прейскурантам, а также по договорной цене. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 8.

Расчет амортизации проводился следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2,$$

где  $H_A$ – норма амортизации;

$n$  – срок полезного использования в количествах лет;

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 593,588}{12} \cdot 3 = 29,679 \text{ тыс. руб.},$$

где  $I$ – итоговая сумма в тыс.руб.;

$m$  – время использования в месяцах;

Таблица 8 -Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ВМК РВ ЭЭС	1	560,0	560,0
2	Microsoft Visual Studio Professional 2013	1	22,124	22,124
3	PowerFactory	1	11,464	11,464
Итого:	593,588 тыс. руб.			
Амортизация	29,679 тыс. руб.			

### 5.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включены основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов. Расчет основной заработной платы представлен в таблице 9.

Таблица 9 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р, раб.</sub> дн.	З <sub>осн</sub> , руб.	З <sub>доп</sub> , руб
Инженер	8065	268,8	55	14784	1774,1
Руководитель(доцент)	22000	733,3	20	14666	1760
Итого З <sub>зп</sub>	42879,3 руб.				

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = (З_{осн} + З_{доп}) \cdot 1,3,$$

где З<sub>осн</sub> – основная заработная плата;

З<sub>доп</sub> – дополнительная заработная плата (12 % от З<sub>осн</sub>),

1,3 – коэффициент для г. Томска.

Основная заработная плата работников ТПУ рассчитывается на основании оклада в соответствии с занимаемой должностью.

#### 5.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1% .

Размер отчислений во внебюджетные формы представлен в таблице 10.

Таблица 10 - Отчисление во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	14666	1760
Инженер	14784	1774,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
<b>Итого</b>	8938,7 руб	

### 5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} ,$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов берется в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = (675645) \cdot 0,16 = 108103,2 \text{ руб.}$$

### 5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 11.

Таблица 11 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	% от общей суммы
1. Материальные затраты НТИ	560	0,07
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	593588	75,74
3. Амортизация специального оборудования	29679	3,79
4. Затраты по заработной плате исполнителей	42879,3	5,47
5. Отчисления во внебюджетные фонды	8938,7	1,14
6. Накладные расходы	108103,2	13,8
7. Бюджет затрат НТИ	783748,2	100

**Вывод:** общий бюджет затрат на организацию и проведения исследования по настройке АРВ СД составляет 783 748,2 рублей.

### 5.4 Оценка рисков при создании проекта

Проведение оценки рисков, которым может подвергнуться исполнение исследования разработки методики оптимальной настройки регулятора возбуждения синхронной машины производится

квалифицированными экспертами с достоверными сведениями о поставщиках оборудования, разработчиках ПО и их условий работы.

#### **5.4.1 Описание групп рисков**

Риски проекта по своему составу можно объединить в указанные ниже группы в зависимости от их характера (Социальные, Экономические, Экологические, Технические, и Политические).

*К социальным рискам относятся:*

- Потеря и хищения имущества
- Несоблюдение техники безопасности
- Отсутствие командной работы

*К экономическим рискам можно отнести:*

- Рост цен
- Недобросовестные поставщики и исполнители
- Недовольство заказчика дороговизной проекта
- Изменение налогообложения
- Непредвиденные расходы

*Технологические риски включают в себя:*

- Низкое качество изготовления комплектующих
- Неисправность оборудования
- Опасность повреждения комплектующих при транспортировке
- Опасность повреждения комплектующих при монтаже

*Возможные экологические риски:*

- Высокий уровень травматизма
- Применение и транспортировка токсичных материалов
- Загрязнение окружающей территории

*Политические риски:*

- Критика в СМИ
- Нарушение действующих нормативных законодательных норм
- Возможное изменение политического курса партии и правительства

#### 5.4.2 Оценка важности группы рисков

При оценке важности рисков, оценивается вероятность их наступления. По шкале от 0 до 100 процентов:

- 100 – Наступит точно
- 75 – Скорее всего, наступит
- 50 – Ситуация неопределенности
- 25 – Риск, скорее всего не наступит
- 0 – Риск не наступит

Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом ( $w_i$ ). Важность оценивается по 10- балльной шкале  $b_i$ .

Внутри каждой группы оценка идет от простого к сложному. Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице.

Таблица 12 - Проведение экспертизы социальных рисков

№ п/п	Риски	Вероятность ( $p_i$ )	Важность ( $b_i$ )	Вес риска ( $w_i$ )	Итоговая оценка ( $P_i * w_i$ )
1	Потеря и хищения имущества	50	10	0,48	24
2	Несоблюдение техники безопасности	25	8	0,38	9,5
3	Отсутствие командной работы	0	3	0,14	0
Итого			21	1	33,5

Таблица 13 - Проведение экспертизы экономических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность ( $p_i$ )	Важность ( $b_i$ )	Вес риска ( $w_i$ )	Итоговая оценка ( $P_i * w_i$ )
1	Инфляция	100	2	0,09	9
2	Недобросовестные поставщики и исполнители	0	2	0,09	0
3	Недовольство заказчика дороговизной проекта	25	8	0,36	9
3	Изменение	25	2	0,09	2,25

	налогообложения				
4	Непредвиденные расходы	50	8	0,36	18
Итого			22	1	38,25

Таблица 14 - Проведение экспертизы технологических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Низкое качество изготовления комплектующих	25	8	0,29	7,25
2	Неисправность оборудования	25	8	0,29	7,25
3	Опасность повреждения оборудования при транспортировке	0	5	0,18	0
4	Опасность повреждения комплектующих при монтаже	0	7	0,25	0
Итог			28	1	14,5

Таблица 15 - Проведение экспертизы экологических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Загрязнение окружающей территории	25	7	0,35	8,75
2	Применение и транспортировка токсичных материалов	0	8	0,4	0
3	Высокий уровень травматизма	0	5	0,25	0
Итого			20	1	8,75

Таблица 16 - Проведение экспертизы политических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Критика в СМИ	25	3	0,14	3,5



2	Нарушение действующих нормативных законодательных норм	0	9	0,43	0
3	Возможное изменение политического курса партии и правительства	25	9	0,43	10,75
Итого			21	1	14,25

Вычисление общих рисков для проекта:

Таблица 17 - Определение общих рисков проекта:

№ п/п	Риски	Ранг (Pi)	Вес(Wi)	Вероятность (vi)	Общая оценка рисков исследования (wi*vi)
1	Социальные	8	0,22	33,5	7,37
2	Экономические	10	0,27	38,25	10,33
3	Технологические	10	0,27	14,5	3,92
4	Экологические	5	0,14	8,75	1,23
5	Политические	4	0,11	14,25	1,57
Итого		37			24,42

Анализируя риски, можно отметить, что организация работ по исследованию не относится к рискованным проектам, общий показатель рисков равен всего 24,42 %.

## **Выводы по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

1) В данной главе был проведен анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности для проведения эффективного наличного исследования для дальнейшей коммерциализации проекта. Было выбрано наиболее подходящее оборудование и программное обеспечение.

2) При планировании исследования определена длительность выполнения научных работ - 81 день. Из них длительность работ в календарных днях: 71 день – инженер, 26 – руководитель. Длительность работ в рабочих днях: 55 – инженер, 20 – руководитель.

3) Расчет бюджета затрат научно-исследовательского исследования составил 783 748,2 рублей. С учетом того, что данное приобретенное оборудование и данные по настройке АРВ СД дают возможность для проведения множества различных исследований и проектов, то можно говорить о его хорошей окупаемости и следовательно можно сделать вывод, что бюджет проекта не является завышенным.

4) В результате расчет рисков исследования дает общую оценку в 24,42%. Эта цифра говорит, что исследование имеет достаточно низкий показатель рисков, хотя и не лишен вероятных препятствий. Оценка отдельных групп риска (с наиболее высокими показателями) будет учтена на подготовительном этапе, для того что бы по возможности снизить их отрицательное влияние на проект в целом.

В итоге, результаты исследования по определения оптимальных настроечных параметров автоматического регулятора возбуждения сильного действия синхронной машины говорят о том, что данное исследование является ресурсо- и финансово эффективным. У данного исследования высокая окупаемость и применимость в области энергетики.